

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-229601

(43)Date of publication of application : 15.08.2003

(51)Int.Cl. H01L 33/00

(21)Application number : 2002-027869

(71)Applicant : SHOWA DENKO KK

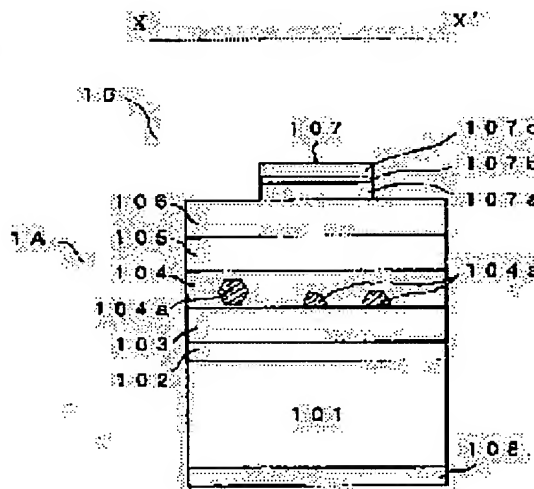
(22)Date of filing : 05.02.2002

(72)Inventor : UDAGAWA TAKASHI

(54) BORON PHOSPHIDE BASED SEMICONDUCTOR ELEMENT, ITS MANUFACTURING METHOD AND LIGHT EMITTING DIODE**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a technical means for obtaining an active layer having uniform indium composition when an active layer composed of group III nitride semiconductor crystal containing indium which is expressed by a general formula $AlQGaRInYN$ (where $0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $0 < Y \leq 1$ and $Q+R+Y=1$) is formed on a boron phosphide based semiconductor crystal layer.

SOLUTION: An intermediate layer composed of III-V compound semiconductor is formed between a boron phosphide based semiconductor crystal layer and the active layer. The semiconductor has indium composition which is at most 1/2 of indium composition of the group III nitride semiconductor crystal layer forming the active layer. The intermediate layer is constituted from a polycrystal layer containing crystals different in a crystallinity.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

11.06.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Rest Available Copy

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The substrate which consists of a silicon (Si) single crystal, and the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer prepared on this substrate, With the interlayer who consists of a group-III-V-semiconductor crystal prepared on this Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer The general formula $AlQGaRInYN$ which sets to Y ($0 < Y \leq 1$) the indium presentation established on this middle class In the Lynn-ized boron system semiconductor device equipped with the barrier layer which consists of an III group nitride semiconducting crystal expressed with ($0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $Q+R+Y=1$) [however,] The Lynn-ized boron system semiconductor device characterized by being 1/2 or less [of an indium presentation (Y) of the III group nitride semiconducting crystal with which said middle class consists of a group-III-V-semiconductor crystal containing an indium, and this middle class's indium presentation makes said barrier layer].

[Claim 2] The Lynn-ized boron system semiconductor device according to claim 1 characterized by consisting of polycrystal layers which said interlayer turns into from the group-III-V-semiconductor crystal of the wurtzite mold (Wurtzite) containing the crystalline of a sphalerite mold (zinc blende).

[Claim 3] The Lynn-ized boron system semiconductor device according to claim 1 characterized by consisting of polycrystal layers which said interlayer turns into from the group-III-V-semiconductor crystal of the sphalerite mold containing the crystalline of a wurtzite mold.

[Claim 4] Said Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer consists of Lynn-ized boron nitride and indium ($BAInDN1-\delta P\delta: 0 < A \leq 1$, $0 \leq D < 1$, $A+D=1$, $0 \leq \delta \leq 1$) mixed crystal. said middle class — an aluminum nitride gallium indium (aluminumgammaGabetainalphaN: — $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, and $0 \leq \gamma < 1$ —) $\alpha + \beta + \gamma = 1$ Consist of 1 mixed crystal and said barrier layer consists of aluminum nitride gallium indium ($AlQGaRInYN: 0 < Y \leq 1$, $0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $Q+R+Y=1$) mixed crystal. The Lynn-ized boron system semiconductor device according to claim 1 to 3 characterized by being $\alpha \leq 0.5 \times Y$.

[Claim 5] Said Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer consists of Lynn-ized boron and indium ($BAInDP: 0 < A \leq 1$, $0 \leq D < 1$, $A+D=1$) mixed crystal. Said middle class consists of gallium nitride indium ($G\beta\alpha In\alpha N: 0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, $\alpha + \beta = 1$) mixed crystal. The Lynn-ized boron system semiconductor device according to claim 4 which a barrier layer consists of gallium nitride indium ($G\alpha R InYN: 0 < Y \leq 1$, $0 \leq R < 1$, $R+Y=1$) mixed crystal, and is characterized by being $\alpha \leq 0.5 \times Y$.

[Claim 6] The manufacture approach of claim 1 which forms said interlayer by organic metal modified chemical vapor deposition (MOCVD law) thru/or the Lynn-ized boron system semiconductor device given in 5.

[Claim 7] The manufacture approach of the Lynn-ized boron system semiconductor device according to claim 6 which makes said interlayer's growth temperature 700 degrees C - 950 degrees C.

[Claim 8] Light emitting diode set to claim 1 thru/or 5 from the Lynn-ized boron system semiconductor device of a publication.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the technique for constituting the barrier layer excellent in the homogeneity of the presentation which brings about improvement in a component property especially with respect to the technique for constituting the Lnn-ized boron system semiconductor device which comes to have a barrier layer on the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, Lnn-ized boron (BP) is known as a kind of group III-V semiconductor (the Teramoto ****, "semiconductor device introduction" (refer to March 30, 1995, Baifukan Issue First edition, and 28 pages)). Since Lnn-ized boron is the semi-conductor of a indirect transition mold, it is chiefly used for constituting stratum functionale other than a barrier layer with the component (Lnn-ized boron system semiconductor device) possessing the Lnn-ized boron system semi-conductor constituted considering Lnn-ized boron as a base material. It is in the Lnn-ized boron system semiconductor device, for example, a light emitting device, and the crystal layer which consists of a Lnn-ized boron semi-conductor is used as a contact (contact) layer (refer to JP,2-288388,A) for forming not a barrier layer (luminous layer) but a buffer coat (referring to U.S. Pat. No. 6,069,021 number), or an ohmic (Ohmic) nature electrode. Moreover, in the former, the example constituted as a substrate is indicated [single crystal / (silicon) / silicon (Si)] in these Lnn-ized boron system semi-conductor light emitting devices (refer to the above-mentioned U.S. Pat. No. 6,069,021 number).

[0003] it is in the conventional compound semiconductor light emitting device, and it comes out of a barrier layer (luminous layer) chiefly to consist of group-III-V-semiconductor crystal layers of a direct transition mold. For example, the barrier layer of near-ultraviolet, blue, green light emitting diode (LED), or a laser diode (LD) consists of gallium nitride indium ($\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$: $0 \leq Y \leq 1$) mixed crystal (refer to JP,55-3834,A). Even if it is in the Lnn-ized boron system semi-conductor light emitting device, the example which sets a luminous layer to $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) is well-known (refer to the above-mentioned U.S. Pat. No. 6,069,021 number). It is in the conventional Lnn-ized boron system semi-conductor light emitting device, and the luminous layer which consists of $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) is prepared on the crystal layer which consists for example, of Lnn-ized boron and indium ($\text{B}_{1-X}\text{In}_X\text{P}$: $0 \leq X \leq 1$) mixed crystal.

[0004] It is in the Lnn-ized boron system semi-conductor of a cubic sphalerite mold (zinc blende), for example, the lattice constant of the Lnn-ized boron (boron monophosphide:BP) of a monomer is 4.538Å (refer to the above-mentioned "semiconductor device introduction" and 28 pages), and it excels in grid adjustment with the cubic gallium nitride (GaN) which makes a lattice constant 4.509Å (refer to "Japanese crystal growth society magazine" Vol.25, No.3 (1998), and A 28 pages). For this reason, possibility of becoming suitable [Lnn-ized boron (BP)] as a substrate layer at the time of forming III group nitride semiconducting crystal layers, such as gallium nitride (GaN), is pointed out (refer to "Japanese crystal growth society magazine" Vol.26, and No. 2 (1999) or 29 pages).

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, even if it is, for example, going to prepare the barrier layer which is made suitable to bring about luminescence of short wavelength from the former and which consists of $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) on a Lnn-ized boron (BP) layer, it poses a problem that the $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) crystal layer which makes an indium presentation (=Y) uniform in the increment direction of thickness is hard to be obtained. From the barrier layer which makes an indium presentation uneven in the direction of thickness, since luminescence which is excellent in high electron mobility or high monochromaticity cannot be obtained, the present condition is having caused trouble to obtaining the Lnn-ized boron system semiconductor device which is excellent in a property.

[0006] This invention is what was made that the trouble in the above-mentioned conventional technique should be solved. On the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer, the general formulas AlQGaRInY , such as $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) In preparing the barrier layer which consists of an III group nitride semiconducting crystal containing the indium (In) expressed with ($0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $0 < Y \leq 1$, $Q+R+Y=1$), the technical means for obtaining a barrier layer with a uniform indium presentation is shown. [however,] Moreover, the Lnn-ized boron system semiconductor device which is excellent in an electric or optical property using this technical means is offered.

[0007]

[Means for Solving the Problem] Namely, the substrate with which this invention consists of a (1) silicon (Si) single crystal and the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer prepared on this substrate. With the interlayer who consists of a group-III-V-semiconductor crystal prepared on this Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer The general formula $AlQGaRInYN$ which sets to Y ($0 < Y \leq 1$) the indium presentation established on this middle class In the Lnn-ized boron system semiconductor device equipped with the barrier layer which consists of an III group nitride semiconducting crystal expressed with ($0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $Q+R+Y=1$) [however,] The Lnn-ized boron system semiconductor device characterized by being 1/2 or less [of an indium presentation (Y) of the III group nitride semiconducting crystal with which said middle class consists of a group-III-V-semiconductor crystal containing an indium, and this middle class's indium presentation makes said barrier layer].

(2) The Lnn-ized boron system semiconductor device given in the above (1) characterized by consisting of polycrystal layers which said interlayer turns into from the group-III-V-semiconductor crystal of the wurtzite mold (Wurtzite) containing the crystalline of a sphalerite mold (zinc blende).

(3) The Lnn-ized boron system semiconductor device given in the above (1) characterized by consisting of polycrystal layers which said interlayer turns into from the group-III-V-semiconductor crystal of the sphalerite mold containing the crystalline of a wurtzite mold.

(4) Said Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer consists of Lnn-ized boron nitride and indium ($BAlInDN1-\delta$: $0 < A \leq 1$, $0 \leq D < 1$, $A+D=1$, $0 \leq \delta \leq 1$) mixed crystal. said middle class — an aluminum nitride gallium indium (aluminumgammaGabetalalphaN: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, and $0 \leq \gamma < 1$ —) $\alpha + \beta + \gamma = 1$ Consist of 1 mixed crystal and said barrier layer consists of aluminum nitride gallium indium ($AlQGaRInYN$: $0 < Y \leq 1$, $0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $Q+R+Y=1$) mixed crystal. The above (1) characterized by being $\alpha \leq 0.5 \times Y$ thru/or the Lnn-ized boron system semiconductor device given in (3).

(5) Said Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer consists of Lnn-ized boron and indium ($BAlInDP$: $0 < A \leq 1$, $0 \leq D < 1$, $A+D=1$) mixed crystal. Said middle class consists of gallium nitride indium ($GabetalalphaN$: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, $\alpha + \beta = 1$) mixed crystal. The Lnn-ized boron system semiconductor device given in the above (4) which a barrier layer consists of gallium nitride indium ($GaRInYN$: $0 < Y \leq 1$, $0 \leq R < 1$, $R+Y=1$) mixed crystal, and is characterized by being $\alpha \leq 0.5 \times Y$.

(6) The above (1) which forms said interlayer by organic metal modified chemical vapor deposition (MOCVD law) thru/or the manufacture approach of the Lnn-ized boron system semiconductor device given in (5).

(7) The manufacture approach of the Lnn-ized boron system semiconductor device given in the above (6) which makes said interlayer's growth temperature 700 degrees C - 950 degrees C.

(8) Light emitting diode set to the above (1) thru/or (5) from the Lnn-ized boron system semiconductor device of a publication.

It comes out.

[0008]

[Embodiment of the Invention] In the 1st operation gestalt of this invention, the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer prepared on a silicon single crystal substrate is a layer which contains boron (B) and Lnn (P) as a configuration element, for example, consists of a $BAAIBGaCInDP1-\delta$ ($0 < A \leq 1$, $0 \leq B < 1$, $0 \leq C < 1$, $0 \leq D < 1$, $A+B+C+D=1$, $0 \leq \delta \leq 1$) crystal. Moreover, for example, it is the layer which consists of a $BAAIBGaCInDP1-\delta$ ($0 < A \leq 1$, $0 \leq B < 1$, $0 \leq C < 1$, $0 \leq D < 1$, $A+B+C+D=1$, $0 \leq \delta \leq 1$) crystal. It is in the Lnn-ized boron system semi-conductor light emitting device, and the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer which consisted of large semiconducting crystals of a band gap rather than the barrier layer (luminous layer) can be used as a barrier layer to a barrier layer. Moreover, the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer of high resistance which added oxygen (O) etc. is in a field effect transistor (FET), controls leakage of the operating current from a barrier layer, and can use it as a buffer coat which is excellent in a mutual conductance (gm), for example.

[0009] The silicon single crystal (silicon) which has {100} sides, {110} sides, or {111} sides can be used for a substrate. The silicon single crystal which uses as a front face the crystal face which inclined in specific crystal orientation can also be used as a substrate. For example, the silicon single crystal which makes it an include angle and uses as a front face the {111} crystal faces which carried out the about 7 times (degree) inclination can be used for $\langle 110 \rangle$ crystal orientation as a substrate. It is in the Lnn-ized boron system semiconductor light emitting device, and since positive/negative and which polar ohmic (Ohmic) nature electrode can be laid at the rear face of a substrate, then a substrate, n form or the silicon single crystal of p form conductivity can be contributed for constituting a light emitting device simple. The low conductive single crystal substrate of specific resistance (= resistivity) which makes resistivity especially more desirably less than [0.1mohm] contributes for bringing about LED with low forward voltage (the so-called Vf) below 1 milli ohm (mohms). Moreover, it becomes effective in constituting LD which brings about the oscillation stabilized since it excelled in heat dissipation nature. When are in the Lnn-ized boron system semi-conductor light emitting device, making it join to the silicon single crystal used as a substrate and preparing the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer, it is desirable to make the same the silicon single crystal of a substrate and conduction type of the Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer.

[0010] The Lnn-ized boron system semiconducting crystal layer can be prepared through a buffer coat on the above-mentioned silicon single crystal substrate. Especially the buffer coat that consisted of Lnn-ized boron system semi-conductor layers of an amorphous substance or polycrystal eases stacking fault affinity

with the silicon single crystal which forms a substrate, and demonstrates effectiveness to bring about the Linn-ized boron system semiconducting crystal layer with small crystal defect consistencies, such as a misfit rearrangement. Moreover, the boron which constitutes the buffer coat which consists of a Linn-ized boron system semi-conductor layer, and Linn demonstrate the operation as a "growth nucleus" which promotes growth, and take effect to bring about the Linn-ized boron system semiconducting crystal layer which has a continuity on it. For example, the example which constitutes a buffer coat from Linn-ized boron (BP) of the amorphous substance formed at the temperature of 250 degrees C - 750 degrees C by the MOCVD method or polycrystal can be given (refer to U.S. Pat. No. 6,069,021 number). As for the thickness of a buffer coat 102, it is desirable that it is referred to as 50nm or less by about 1nm or more, and it refers to to 15nm or less by 2 morenm or more.

[0011] On the Linn-ized boron system semiconducting crystal layer, the interlayer who consists of a group-III-V-semiconductor crystal containing an indium is prepared. The description in the operation gestalt of **** 1 is to constitute the middle class from an III-V group ghost semiconducting crystal layer which has a specific indium presentation ($=\alpha$). Although the middle class consists of group-III-V-semiconductor crystals, such as for example, a gallium nitride indium ($\text{Ga}_{1-\alpha}\text{In}_{\alpha}\text{N}$), the indium presentation ($=\alpha$) is set to $0 < \alpha < 0.5 \times Y$. Y is an indium presentation (however, $0 < Y < 1$) of a barrier layer which consists of an III group nitride semiconducting crystal which is formed on an interlayer, and which is expressed with a general formula (however, $0 < Q < 1$, $0 < R < 1$, $Q + R + Y = 1$) $\text{Al}_Q\text{Ga}_R\text{In}_Y\text{N}$ here. If the barrier layer which has a uniform indium presentation for example, within a layer has the indium presentation ($=Y$) of the III group nitride semiconducting crystal layer which makes a barrier layer, it is the presentation itself. Moreover, if it is at the barrier layer which has inclination in the increment direction of thickness at an indium presentation, it is the indium presentation in the front face of the side which touches the middle class. Moreover, if it is in the barrier layer of the polyphase structure which consists of an aggregate of a crystal phase which is different in an indium presentation, it is the average of an indium presentation of each crystal phase.

[0012] It is prepared in order that especially the middle class of this invention may bring about the barrier layer which makes an indium presentation ($=Y$) uniform in the depth direction (the growth direction). It is stabilized and the barrier layer which has the indium presentation ($=Y$) of a uniform request in the depth direction as it is the high price for which the indium presentation ($=\alpha$) of the group-III-V-semiconductor crystal layer which makes the middle class exceeds the mesial magnitude of an indium presentation ($=Y$) of the III group nitride semiconducting crystal which makes a barrier layer cannot be obtained. It originates in diffusion of the indium (In) atom from the middle class to a barrier layer side, and the barrier layer uneven in presentation to which the indium presentation ($=Y$) decreased is gradually concluded in the increment direction of the thickness of a barrier layer so that it may illustrate to drawing 1 especially. On the contrary, if the middle class is constituted from a group-III-V-semiconductor crystal layer which does not contain an indium (In), the barrier layer with which a desired indium presentation ($=Y$) is not filled will become being easy to conclude. The barrier layer uneven in presentation to which the indium presentation fell in the field by the side of the middle class of the deep part of a barrier layer is concluded so that it may illustrate to drawing 2 especially. Even if it uses the barrier layer which consists of an III group nitride semiconducting crystal with such an uneven indium presentation ($=Y$) as a luminous layer, various luminescence corresponding to change of an indium presentation ($=Y$) arises, and it does not come to obtain the Linn-ized boron system semi-conductor light emitting device which brings about luminescence which is excellent in monochromaticity.

[0013] Moreover, on the interlayer exceeding the mesial magnitude ($= 1/2$) of an indium presentation ($=Y$) of an indium presentation ($=\alpha$) of a barrier layer, the barrier layer which is excellent in surface surface smoothness can be stabilized, and cannot be formed. If α exceeds $0.5 \times Y$, irregularity will become rapidly remarkable on the surface of a barrier layer. A smooth junction interface cannot consist of barrier layers of the front face were rudely ruined. Even if it means the thing which use as an electronic transit layer (channel layer) the barrier layer which follows, for example, has such a coarse front face and for which it has hetero (different species) junction structure, uses, and the high mobility FET is constituted, the interior of the channel (channel) layer near the heterojunction interface cannot be made to carry out localization of the two-dimensional electron efficiently, but two-dimensional electron gas FET (TEGFET) which is excellent in a mutual conductance (gm) is not obtained, but becomes inconvenient. As for the interlayer who uses for TEGFET, it is desirable to constitute from same conduction type as an electronic transit layer or a group-III-V-semiconductor crystal layer of high resistance. Moreover, the thickness of the interlayer who can use suitable for FET is $1/2$ or less [of a barrier layer]. For example, thickness suitable as an interlayer about the barrier layer which sets thickness to 15nm is under 7.5nm. Furthermore, it is about 5nm or less preferably. Thickness does not come [therefore] to cover the whole front face of the Linn-ized boron system semiconducting crystal layer of a substrate with the interlayer of less than about 1nm ultra-thin film to homogeneity, and serves as trouble by him obtaining the depth direction or the barrier layer which has a uniform indium presentation superficially.

[0014] As compared with the thickness of a barrier layer, the interlayer of excessive thickness may become the factor which causes trouble to improvement in the property of the Linn-ized boron system semiconductor device. Many of groups III-V semiconductor for constituting an interlayer are semi-conductors of a direct transition mold (refer to the above-mentioned "semiconductor device introduction" and 28 pages). It follows, for example, is in the Linn-ized boron system semi-conductor light emitting device, and, in addition to a

barrier layer, luminescence from an interlayer may occur secondarily according to the component operating current which flows into an interlayer. With the operation gestalt of **** 1, since it (=Y) of a barrier layer is making the indium presentation (=alpha) different even if it is, when it constitutes the middle class from same ingredient as a barrier layer, the wavelength of secondary luminescence from the middle class differs from the luminescence wavelength from the barrier layer for which it originally asks. Usually, since the reinforcement of secondary luminescence from an interlayer increases, it serves as trouble obtaining the Lynn-ized boron system semi-conductor light emitting device which is excellent in the monochromaticity of luminescence, so that an interlayer's thickness is made into size. If an interlayer's thickness is made or less [of the thickness of a barrier layer] into 1/2, the reinforcement of secondary luminescence will be reduced rapidly. The conduction type of the interlayer who uses for constituting a light emitting device is made in agreement with any of a barrier layer or the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer they are.

[0015] The barrier layer of this invention prepared on the middle class consists of III group nitride semiconducting crystals expressed with the general formula (however, $0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $Q+R+Y=1$) $AlQGaRInYN$ which sets an indium presentation to Y ($0 < Y \leq 1$). The barrier layer of the Lynn-ized boron system semiconductor device concerning this invention can also consist of quantum well (Quantum Well:QW) structures. For example, the crystal layer which consists of $Ga1-YInYN$ ($0 < Y \leq 1$) etc. the barrier layer prepared on the Lynn-ized boron system semi-conductor layer can also consist of the singles (Single QW:SQW) or multiplex (Multi QW:MQW) structures which it had as a well (well) layer. A barrier (barrier) layer can consist of an aluminum nitride gallium (aluminum1-XGaXN: $0 \leq X \leq 1$), $GaN1-\delta P\delta$ ($0 \leq \delta \leq 1$), etc. If the barrier layer which this invention says is in quantum well structure, or it brings about luminescence, it is a well layer an electron runs. Therefore, even if it faces preparing the quantum structure on the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer, after preparing the middle class of this invention for example, on a barrier layer, there is an advantage to which forming a well layer then the depth direction, or the well layer (barrier layer) that makes an indium presentation (=Y) uniform superficially is brought.

[0016] The 2nd operation gestalt of this invention constitutes an interlayer from the polycrystal layer which consists of a group-III-V-semiconductor crystal which has the special crystal structure. That is, it constitutes from a polycrystal layer which consists of a group-III-V-semiconductor crystal of the wurtzite mold (Wurtzite) containing the crystalline of a sphalerite mold (zinc blende). It does not consist of crystals of a single crystal mold uniformly, and the crystal layer in which the crystal of such a different crystal mold is intermingled is called a polycrystal layer by this invention. For example, the middle class who prepares on the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer which consists of Lynn-ized boron (BP) of a monomer consists of polycrystal layers of the gallium nitride indium ($Ga1-\alpha In\alpha N$: $0 < \alpha \leq 0.5 \times Y$) of the wurtzite mold containing the crystalline of a sphalerite mold. Since the Lynn-ized boron system semiconducting crystal generally has the crystal structure of a sphalerite mold, when it constitutes an interlayer from a crystal layer of a wurtzite mold, the operation which eases the lattice strain which originates in the coefficient of thermal expansion between the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer and an interlayer or the difference in a lattice constant, and is generated is acquired from the interlayer containing the crystalline of such a sphalerite mold. Moreover, an interlayer absorbs Lynn (P) diffused in a barrier layer side from the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer of the substrate at the time of membrane formation of a barrier layer, and takes effect to control the atomic concentration of Lynn (P) in a barrier layer.

[0017] The 3rd operation gestalt of this invention constitutes from the group-III-V-semiconductor crystal layer which has the crystal structure which is different from the above in an interlayer. That is, it constitutes from a polycrystal layer which consists of a group-III-V-semiconductor crystal of the sphalerite mold containing the crystalline of a wurtzite mold. For example, it constitutes from a polycrystal layer of the group III-V semiconductor of the sphalerite mold containing the crystalline which consists of a gallium nitride indium of a wurtzite mold. The interlayer who consists of polycrystal layers which consist of a group-III-V-semiconductor crystal of the sphalerite mold containing the crystalline of a wurtzite mold since an III group nitride semiconducting crystal is generally a wurtzite mold eases the lattice strain which originates in the coefficient of thermal expansion between the barrier layers which consist of an interlayer and an III group nitride semiconducting crystal, or the difference in a lattice constant, and is generated, and has the operation which brings about the barrier layer which is excellent in crystallinity. Moreover, an interlayer absorbs Lynn (P) diffused in a barrier layer side from the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer of the substrate at the time of membrane formation of a barrier layer, and takes effect to control the atomic concentration of Lynn (P) in a barrier layer.

[0018] The 4th operation gestalt of this invention constitutes the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer from the Lynn-ized boron nitride and indium ($BAlN\delta N1-\delta P\delta$: $0 < A \leq 1$, $0 \leq D < 1$, $A+D=1$, $0 < \delta \leq 1$) mixed crystal. The middle class who prepares on the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer is constituted from aluminum nitride gallium indium (aluminumgammaGabetalalphaN: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, $0 \leq \gamma < 1$, $\alpha+\beta+\gamma=1$) mixed crystal. And a barrier layer consists of aluminum nitride gallium indium ($AlQGaRInYN$: $0 < Y \leq 1$, $0 \leq Q < 1$, $0 \leq R < 1$, $Q+R+Y=1$) mixed crystal. It is referred to as $\alpha \leq 0.5 \times Y$ here. From the Lynn-ized boron nitride and indium mixed crystal, there is an advantage which can constitute the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer which carries out lattice matching to the silicon single crystal used as a substrate (refer to JP,2000-22211,A). Moreover, since aluminum nitride gallium indium mixed crystal is a kind of wideband gap (wide bandgap) ingredient, it can constitute a barrier

layer convenient for carrying out outgoing radiation of a near-ultraviolet band light or the short wavelength visible band light. Moreover, it has the specified indium presentation (it is $\alpha \leq 0.5 \times Y$ at α , however $0 < \alpha \leq 0.5$). And the interlayer who consisted of aluminum nitride gallium indium (aluminum gamma Gabetal alpha N: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 < \beta < 1$, $0 < \gamma < 1$, $\alpha + \beta + \gamma = 1$) mixed crystal which comes to contain the configuration element of a barrier layer While offering the "growth nucleus" in growth of a barrier layer and promoting membrane formation of a barrier layer, a barrier layer with a uniform indium presentation ($=Y$) can also be hung down.

[0019] Furthermore, the 5th operation gestalt of this invention constitutes the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer from Lynn-ized boron and indium (BAInDP: $0 < A \leq 1$, $0 < D < 1$, $A + D = 1$) mixed crystal. The middle class who prepares on the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer is constituted from gallium nitride indium (Gabetal alpha N: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 < \beta < 1$, $\alpha + \beta = 1$) mixed crystal. A barrier layer consists of gallium nitride indium (GaRInYN: $0 < Y \leq 1$, $0 < R < 1$, $R + Y = 1$) mixed crystal. It is referred to as $\alpha \leq 0.5 \times Y$ here. BAInDP mixed crystal has more few configuration elements, therefore can perform formation of the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer as it is simple. The Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer used as the barrier layer (cladding layer) to a barrier layer (luminous layer) can consist of Lynn-ized boron (BP) crystal layers of the monomer which makes the band gap in a room temperature about 3eV order especially. Moreover, the buffer coat of for example, an FET application can consist of Lynn-ized boron (BP) crystal layers containing impurities, such as oxygen (O), of high resistance. Moreover, since whenever [mutual lattice mismatch] can be performed with smallness if constituted from the same ingredient as a barrier layer although an indium presentation differs in the middle class, a good barrier layer with low crystal defect consistencies, such as a misfit (misfit) rearrangement, can be constituted. Especially the interlayer that consists of a wurtzite mold crystal intermingled in the crystalline of a sphalerite mold can contribute for bringing about the barrier layer which is excellent in crystallinity with few crystal defect consistencies.

[0020] The interlayer who consists of a group-III-V-semiconductor crystal can form membranes like the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer or a barrier layer with growth means, such as organic metal modified chemical vapor deposition (MOCVD law). for example, boron triethyl (C_2H_5) (3B) / cyclopentadienyl indium (C_5H_5In) / phosphine (PH_3) raw material system MOCVD — it depends on law and membranes can be formed. an indium raw material, then a polymer(polymer)-ized reaction with PH_3 control C_5H_5In which does not present strong Lewis acid nature to PH_3 of the Lewis (Lewis) basicity — having — MOCVD under ordinary pressure (abbreviation atmospheric pressure) — the interlayer who contains a good indium also by law can be formed (refer to Japan JP,2098388,B). It faces depending on the MOCVD method and forming the middle class, and the thickness can be controlled by the amount of supply and its supply time amount of a raw material of an III group configuration element, such as boron (B) to a silicon single crystal substrate top, and an indium (In). The middle class's indium presentation ($=\alpha$) changes the rate of the ratio of concentration of the amount of supply of the indium raw material to the total amount of the amount of supply of an III group configuration element, and is adjusted. Moreover, an interlayer's carrier concentration depends on ****(ing) and choosing the ratio (the so-called V/III ratio) of the amount of supply of V group configuration element to the amount of supply of the raw material of an III group configuration element, or adds and (doping) adjusts an impurity intentionally. As an impurity suitable for obtaining the interlayer of n form, silicon (Si), tin (Sn), sulfur (S), a selenium (Se), a tellurium (Te), etc. can be illustrated. There are zinc (Zn), magnesium (Mg), carbon (C), etc. in the dopant (dopant) of p form.

[0021] By the MOCVD method, on the Lynn[which was prepared on the silicon single crystal substrate]-ized boron system semiconducting crystal layer which consists of a Lynn-ized boron (BP) crystal of a monomer, for example It faces forming the interlayer who consists of aluminum nitride gallium indium (aluminum gamma Gabetal alpha N: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 < \beta < 1$, $0 < \gamma < 1$, $\alpha + \beta + \gamma = 1$) mixed crystal, and it is the range of about 750 degrees C — about 1200 degrees C, and, as for the Lynn-ized boron crystal layer, it is desirable to form membranes. At the elevated temperature exceeding about 1200 degrees C, the Lynn-ized boron crystal of the polymer of B6P and B13P2 grade is generated, and the homogeneous crystal layer which consists of Lynn-ized boron of a monomer is not obtained, but it is unsuitable. It is suitable that an interlayer forms membranes from it in [low-temperature] about 700 degrees C — about 950 degrees C. If the interlayer who makes an indium presentation (α) size makes membrane formation temperature low temperature, the interlayer of a flat front face will be obtained. In order to form the interlayer who consists of an III group nitride semiconducting crystal layer containing aluminum (aluminum), it is suitable to make membrane formation temperature into an elevated temperature comparatively in the above-mentioned temperature requirement. Although an indium presentation is different, when the barrier layer which carries out a laminating on the middle class is constituted from same crystal ingredient, there is an advantage which can form a barrier layer simple at the temperature of an abbreviation EQC with the middle class. The indium presentation (α or Y) of the middle class or a barrier layer can carry out a quantum using component-analysis means, such as an X-ray diffraction method, a secondary ion mass spectrometry (SIMS), and the Auger (Auger) spectral-analysis method (AES).

[0022]

[Function] The middle class who has the indium presentation which was established in the middle with the barrier layer which consists of a silicon single crystal substrate and an III group nitride semiconducting crystal

layer containing an indium, and which was specified based on the indium presentation of a barrier layer has the operation which makes the indium presentation of a barrier layer equalize. Moreover, it has the operation which brings about the barrier layer which is excellent in surface surface smoothness.

[0023] Moreover, the interlayer who consists of a polycrystal layer containing the crystalline which has the indium presentation specified based on the indium presentation of a barrier layer, and is different in a crystal mold has the operation which brings about the barrier layer which is excellent in crystallinity.

[0024]

[Example] It mentions to the example which produced the light emitting diode (LED) which consists of a Lynn-ized boron system semiconductor device, and the contents of this invention are explained concretely. The mimetic diagram of LED1B concerning this example is shown in drawing 3. Moreover, the cross section of LED1B in alignment with broken-line X-X' shown in drawing 3 is shown in drawing 4.

[0025] Laminating structure 1A of an LED1B application constituted Si single crystal of p form which added the boron (B) which uses the crystal face (111) as a front face as a substrate 101. a substrate 101 top — boron triethyl (C₂H₅)₃ (3B) / phosphine (PH₃) / hydrogen (H₂) system ordinary pressure MOCVD — the buffer coat 102 which consists of Lynn-ized boron which makes an amorphous substance a subject in the state of as-grown at 350 degrees C by law was deposited. The thickness of a buffer coat 102 could be about 10nm. The laminating of the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 103 which consists of a monomer Lynn-ized boron (BP) crystal of p form where it was made to grow up at 1050 degrees C was carried out to the front face of a buffer coat 102 using the above-mentioned MOCVD vapor growth means. Carrier concentration of the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 103 of p form was set to abbreviation $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, and thickness could be about 400nm. The band gap in the room temperature of BP layer of the monomer which makes the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 103 of p form was 3.0eV about.

[0026] the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 103 top of p form — trimethylgallium (CH₃)₃Ga / cyclopentadienyl indium (C₅H₅In) / ammonia (NH₃) / H-2 system ordinary pressure MOCVD — the laminating of the interlayer 104 who consists of an n form gallium nitride indium (Ga_{0.94}In_{0.06}N) of the wurtzite crystal mold which sets an indium presentation to 0.06 (= 6%) by law was carried out. An interlayer's 104 membrane formation temperature was made into 800 degrees C, and thickness could be 15nm. From the cross-section TEM image using a transmission electron microscope (TEM), and the limit visual field electron diffraction graphic form, existence of crystalline 104a of a sphalerite mold was checked inside the interlayer 104. Crystalline 104a existed to the field near the junction interface with the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 103 mostly especially. The magnitude of crystalline 104a was about 2nm to about 5nm in general.

[0027] On the middle class's 104 front face, the barrier layer (luminous layer) 105 which consists of a Wuts ore type (Silicon Si) dope n form gallium nitride indium (Ga_{0.85}In_{0.15}N) which sets an indium presentation to 0.15 (= 15%) was deposited. Membrane formation temperature of a barrier layer 105 was made into 800 degrees C as well as the interlayer 104, and thickness could be about 300nm. Moreover, the carrier concentration of a barrier layer 105 was set as abbreviation $6 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$. Distribution of the depth direction of an indium presentation of the barrier layer 105 interior which depended on the secondary ion mass spectrometry (SIMS), and was measured was as uniform as about 0.15 until it resulted in the junction interface with an interlayer 104, as shown in drawing 5. An interlayer's 104 capture operation over the Lynn (P) atom which the concentration of the Lynn (P) atom in the contrant region of the barrier layer 105 near the junction interface with an interlayer 104 is less than [about $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$] three, and is diffused from the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 103 of p form had manifested itself. Moreover, in observation by cross-section TEM technique, most rearrangements penetrated in a barrier layer 105 from the Lynn-ized boron system semi-conductor layer 103 were not checked by looking.

[0028] On the barrier layer 105, the laminating of the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 106 of n form which consists of Lynn-ized boron (BP) of a monomer was carried out. Carrier concentration of the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 106 of n form was set to abbreviation $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$, and thickness could be about 400nm. The Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 106 of n mold constituted the band gap in a room temperature from a Lynn-ized boron crystal of a monomer set to 3.0eV about. n — a form — Lynn — izing — boron — a system — a semiconducting crystal — a layer — 106 — and — p — a form — Lynn — izing — boron — a system — a semiconducting crystal — a layer — 103 — a barrier layer — 105 — from — the middle class — 104 — p — a form — Lynn — izing — boron — a system — a semiconducting crystal — a layer — 103 — pn junction — structure — having had — double — a hetero — (— DH —) — structure — a light-emitting part — having constituted.

[0029] In the center section of the front face of the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer 106 of n form, the surface ohmic electrode 107 of the three-tiered structure which serves as the plinth electrode for connection has been arranged. The surface ohmic electrode 107 set the diameter to about 120 micrometers, and made it circular. Part 107a in contact with n form Lynn-ized boron semiconducting crystal layer 106 of the surface ohmic electrode 107 consisted of vacuum deposition film (thickness **700nm) of golden (Au) and a germanium (germanium) alloy. On Au-germanium vacuum deposition film 107a, nickel (nickel) vacuum deposition film (thickness **100nm) 107b covering of was done. Au vacuum deposition film (thickness **1000nm) 107c was made to put on nickel vacuum deposition film 107b. On the other hand, the conductivity

of the p form Si single crystal substrate 101 was utilized, and the rear-face ohmic electrode 108 which consists of (Aluminum aluminum) vacuum deposition film (thickness **700nm) has been arranged all over the abbreviation for the rear face of a substrate 101. Then, laminating structure 1A was judged along the direction parallel to the <211> crystal orientation of Si single crystal of a substrate 101, and perpendicular, and it was referred to as LED1B of the square which sets one side to about 350 micrometers.

[0030] Between the surface ohmic electrode 107 and the rear-face ohmic electrode 108, conduction of the operating current of 20mA (mA) was carried out to the forward direction, and the luminescence property of LED1B was investigated. Emission center wavelength was set to 460nm. The middle class's 104 indium presentation (= 0.06) was written below in the mesial magnitude (= 1/2) of an indium presentation (= 0.15) of a barrier layer 105, and luminescence secondary in addition to this main emission spectrum was not accepted, but luminescence was what is excellent in the monochromaticity which sets half-value width (=FWHM) to about 20nm. Moreover, according to an operation of the interlayer 104 who consists of a configuration containing the crystalline from which a crystal mold is different, since the barrier layer 105 with few penetration rearrangements was brought about, the brightness measured in the state of a chip (chip) using a common integrating sphere became a 9mm candela (mcd). Moreover, the forward voltage (Vf) called for from the usual current-electrical-potential-difference (I-V) property was about 3.7V (forward current = 20mA). Moreover, the reverse voltage (Vr) which is an electrical potential difference at the time of a reverse current reaching 10microA is about 10v or more, and the good pn junction property (rectifying characteristic) manifested itself. As mentioned above, a result provided with the Lynn-ized boron system semi-conductor LED which is excellent in pressure resistance was brought, presenting high luminescence reinforcement to this invention therefore.

[0031]

[Effect of the Invention] The substrate which consists of a silicon single crystal, and the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer prepared on the substrate, With the interlayer who turns into a substrate layer of the barrier layer prepared on the Lynn-ized boron system semiconducting crystal layer It faces constituting the Lynn-ized boron system semiconductor device using the barrier layer which consists of an III group nitride semiconducting crystal which sets an indium presentation to Y ($0 < Y \leq 1$) on the middle class. In this invention Since an interlayer is constituted from a group III-V semiconductor of 1/2 or less indium presentation of an indium presentation of an III group nitride semiconducting crystal layer who makes a barrier layer For example, it is in the Lynn-ized boron system semi-conductor light emitting devices, such as LED, secondary luminescence which disturbs the monochromaticity of luminescence can be avoided, and effect is taken to bring about the light emitting device which is excellent in monochromaticity.

[0032] Moreover, in this invention, since the middle class was constituted from a polycrystal layer containing the crystalline to which a crystal mold is different from making the middle class's indium presentation or less [which makes a barrier layer / of an indium presentation of an III group nitride semiconducting crystal layer] into 1/2 in addition, the light emitting diode which consists of a Lynn-ized boron system semiconductor device which is excellent in luminescence reinforcement and an electric proof-pressure property, for example has been offered.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIP! are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing distribution of an indium presentation of the depth direction of a barrier layer when the middle class's indium presentation is high.

[Drawing 2] It is drawing showing distribution of an indium presentation of the depth direction of a barrier layer in case the middle class does not contain an indium.

[Drawing 3] It is the mimetic diagram of LED concerning the example of this invention.

[Drawing 4] It is the cross section of LED in alignment with broken-line X-X' shown in drawing 3.

[Drawing 5] It is drawing showing distribution of an indium presentation of the depth direction of the barrier layer concerning the example of this invention.

[Description of Notations]

1A Light emitting device (LED) application laminating structure

1B LED

101 Substrate

102 Buffer Coat

103 Lynn-ized Boron System Semiconducting Crystal Layer of P Form

104 Interlayer

104a Crystalline

105 Barrier Layer

106 Lynn-ized Boron System Semiconducting Crystal Layer of N Form

107 Surface Ohmic Electrode

107a Au-germanium vacuum deposition film

107b nickel vacuum deposition film

107c Au vacuum deposition film

108 Rear-Face Ohmic Electrode

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-229601
(P2003-229601A)

(43) 公開日 平成15年8月15日 (2003.8.15)

(51) Int.Cl.⁷
H 0 1 L 33/00

識別記号

F I
H 0 1 L 33/00

キーワード(参考)
C 5 F 0 4 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2002-27869(P2002-27869)

(22) 出願日 平成14年2月5日(2002.2.5)

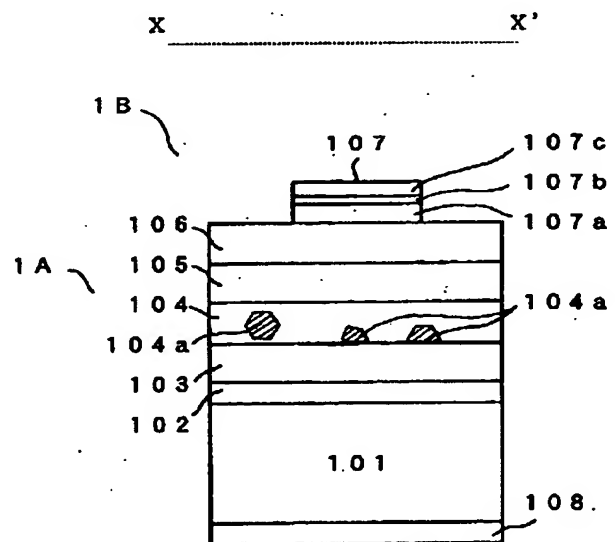
(71) 出願人 000002004
昭和電工株式会社
東京都港区芝大門1丁目13番9号
(72) 発明者 宇田川 隆
埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電
工株式会社総合研究所秩父研究室内
(74) 代理人 100118740
弁理士 柿沼 伸司
Fターム(参考) 5F041 AA11 AA40 CA04 CA23 CA33
CA34 CA40 CA49 CA57 CA65
CA85

(54) 【発明の名称】 リン化硼素系半導体素子、その製造方法、および発光ダイオード

(57) 【要約】

【課題】 リン化硼素系半導体結晶層上に、一般式 $A_1QGaRInYN$ (但し、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $0 < Y \leq 1$ 、 $Q+R+Y=1$) で表わされるインジウム (I n) を含有する III 族窒化物半導体結晶からなる活性層を設けるにあたり、インジウム組成が均一な活性層を得るための技術手段を提示する。

【解決手段】 活性層をなす III 族窒化物半導体結晶層のインジウム組成の $1/2$ 以下のインジウム組成を有する III-V 族化合物半導体からなる中間層をリン化硼素系半導体結晶層と活性層との間に設ける。結晶型の相違する結晶体を含む多結晶層から中間層を構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 珪素（Si）単結晶からなる基板と、該基板上に設けられたリン化硼素系半導体結晶層と、該リン化硼素系半導体結晶層上に設けられたⅢⅤ族化合物半導体結晶からなる中間層と、該中間層上に設けられたインジウム組成を Y （ $0 < Y \leq 1$ ）とする一般式 $AlQGaRInYN$ （但し、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $Q + R + Y = 1$ ）で表わされるⅢ族窒化物半導体結晶からなる活性層とを備えたリン化硼素系半導体素子に於いて、前記中間層がインジウムを含有するⅢⅤ族化合物半導体結晶からなり、該中間層のインジウム組成が前記活性層をなすⅢ族窒化物半導体結晶のインジウム組成（ Y ）の $1/2$ 以下であることを特徴とするリン化硼素系半導体素子。

【請求項2】 前記中間層が、閃亜鉛鉱型（zinc blende）の結晶体を含むウルツ鉱型（Wurtzite）のⅢⅤ族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成されることを特徴とする請求項1に記載のリン化硼素系半導体素子。

【請求項3】 前記中間層が、ウルツ鉱型の結晶体を含む閃亜鉛鉱型のⅢⅤ族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成されることを特徴とする請求項1に記載のリン化硼素系半導体素子。

【請求項4】 前記リン化硼素系半導体結晶層がリン化窒素・インジウム（ $BAlInDP$ ： $0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq D < 1$ 、 $A + D = 1$ 、 $0 < \delta \leq 1$ ）混晶から構成され、前記中間層が窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム（ $Al\gamma Ga\beta In\alpha N$ ： $0 < \alpha \leq 0.5$ 、 $0 \leq \beta < 1$ 、 $0 \leq \gamma < 1$ 、 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ）混晶から構成され、前記活性層が窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム（ $AlQGaRInYN$ ： $0 < Y \leq 1$ 、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $Q + R + Y = 1$ ）混晶から構成され、 $\alpha \leq 0.5 \times Y$ であることを特徴とする請求項1乃至3に記載のリン化硼素系半導体素子。

【請求項5】 前記リン化硼素系半導体結晶層がリン化硼素・インジウム（ $BAlInDP$ ： $0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq D < 1$ 、 $A + D = 1$ ）混晶から構成され、前記中間層が窒化ガリウム・インジウム（ $Ga\beta In\alpha N$ ： $0 < \alpha \leq 0.5$ 、 $0 \leq \beta < 1$ 、 $\alpha + \beta = 1$ ）混晶から構成され、活性層が窒化ガリウム・インジウム（ $GaRInYN$ ： $0 < Y \leq 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $R + Y = 1$ ）混晶から構成され、 $\alpha \leq 0.5 \times Y$ であることを特徴とする請求項4に記載のリン化硼素系半導体素子。

【請求項6】 前記中間層を有機金属化学的気相堆積法（MOCVD法）で成膜する請求項1ないし5に記載のリン化硼素系半導体素子の製造方法。

【請求項7】 前記中間層の成長温度を $700^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ とする請求項6に記載のリン化硼素系半導体素子の製造方法。

【請求項8】 請求項1ないし5に記載のリン化硼素系半

導体素子からなる発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、リン化硼素系半導体結晶層上に活性層を備えてなるリン化硼素系半導体素子を構成するための技術に係わり、特に、素子特性の向上をもたらす組成の均一性に優れた活性層を構成するための技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、一種のⅢⅤ族化合物半導体としてリン化硼素（BP）が知られている（寺本巖著、「半導体デバイス概論」（1995年3月30日、（株）培風館発行初版、28頁参照）。リン化硼素は、間接遷移型の半導体であるため、リン化硼素を基材として構成されるリン化硼素系半導体を具備する素子（リン化硼素系半導体素子）では、活性層以外の機能層を構成するにもつぱら利用されている。リン化硼素系半導体素子、例えば発光素子にあって、リン化硼素半導体からなる結晶層は、活性層（発光層）ではなく、緩衝層（米国特許6,069,021号参照）或いはオーミック（Ohmic）性電極を形成するためのコンタクト（contact）層（特開平2-288388号公報参照）として利用されている。また、従来では、これらのリン化硼素系半導体発光素子を珪素（Si）単結晶（シリコン）を基板として構成する例が開示されている（上記の米国特許6,069,021号参照）。

【0003】 従来の化合物半導体発光素子にあって、活性層（発光層）は直接遷移型のⅢⅤ族化合物半導体結晶層から構成されるのがもつぱらである。例えば、近紫外、青色或いは緑色発光ダイオード（LED）或いはレーザダイオード（LD）の活性層は、窒化ガリウム・インジウム（ $Ga1-YInYN$ ： $0 \leq Y \leq 1$ ）混晶から構成されている（特開昭55-3834号公報参照）。リン化硼素系半導体発光素子にあって、発光層を $Ga1-YInYN$ （ $0 < Y \leq 1$ ）とする例が公知となっている（上記の米国特許6,069,021号参照）。従来のリン化硼素系半導体発光素子にあって、 $Ga1-YInYN$ （ $0 < Y \leq 1$ ）からなる発光層は例えば、リン化硼素・インジウム（ $B1-XInXP$ ： $0 \leq X < 1$ ）混晶からなる結晶層上に設けられている。

【0004】 立方晶の閃亜鉛鉱型（zinc blende）のリン化硼素系半導体にあって、例えば、単量体のリン化硼素（boron monophosphide：BP）の格子定数は 4.538\AA であり（上記の「半導体デバイス概論」、28頁参照）、格子定数を 4.509\AA とする立方晶の窒化ガリウム（GaN）との格子整合性に優れている（「日本結晶成長学会誌」、Vol. 25, No. 3（1998）、A28頁参照）。このため、リン化硼素（BP）は、窒化ガリウム（GaN）等のⅢ族窒化物半導体結晶層を形成する

際の下地層として好適となる可能性が指摘されている（「日本結晶成長学会誌」、Vol. 26, No. 2 (1999)、29頁参照）。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来から短波長の発光をもたらすに好適とされる例えば、 $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) からなる活性層をリン化硼素 (BP) 層上に設けようとしても、層厚の増加方向にインジウム組成 ($=Y$) を均一とする $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) 結晶層が得られ難いことが問題となっている。インジウム組成を層厚方向で不均一とする活性層からは高い電子移動度或いは単色性に優れる発光を得ることはできないため、特性に優れるリン化硼素系半導体素子を得るに支障を来しているのが現状である。

【0006】本発明は、上記の従来技術に於ける問題点を解決すべくなされたもので、リン化硼素系半導体結晶層上に、 $\text{Ga}_{1-Y}\text{In}_Y\text{N}$ ($0 < Y \leq 1$) 等の一般式 $\text{Al}_Q\text{Ga}_R\text{In}_Y\text{N}$ (但し、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $0 < Y \leq 1$ 、 $Q+R+Y=1$) で表わされるインジウム (In) を含有する III 族窒化物半導体結晶からなる活性層を設けるにあたり、インジウム組成が均一な活性層を得るための技術手段を提示するものである。また、この技術手段を利用して電気的或いは光学的な特性に優れるリン化硼素系半導体素子を提供するものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は

(1) 珪素 (Si) 単結晶からなる基板と、該基板の上に設けられたリン化硼素系半導体結晶層と、該リン化硼素系半導体結晶層上に設けられた III-V 族化合物半導体結晶からなる中間層と、該中間層上に設けられたインジウム組成を Y ($0 < Y \leq 1$) とする一般式 $\text{Al}_Q\text{Ga}_R\text{In}_Y\text{N}$ (但し、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $Q+R+Y=1$) で表わされる III 族窒化物半導体結晶からなる活性層とを備えたリン化硼素系半導体素子に於いて、前記中間層がインジウムを含有する III-V 族化合物半導体結晶からなり、該中間層のインジウム組成が前記活性層をなす III 族窒化物半導体結晶のインジウム組成 (Y) の $1/2$ 以下であることを特徴とするリン化硼素系半導体素子。

(2) 前記中間層が、閃亜鉛鉱型 (zinc blende) の結晶体を含むウルツ鉱型 (Wurtzite) の III-V 族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成されることを特徴とする上記 (1) に記載のリン化硼素系半導体素子。

(3) 前記中間層が、ウルツ鉱型の結晶体を含む閃亜鉛鉱型の III-V 族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成されることを特徴とする上記 (1) に記載のリン化硼素系半導体素子。

(4) 前記リン化硼素系半導体結晶層がリン化窒化硼素・インジウム (BAlInP : $0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq$

$D < 1$ 、 $A+D=1$ 、 $0 < \delta \leq 1$) 混晶から構成され、前記中間層が窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム ($\text{Al}_\gamma\text{Ga}_\beta\text{In}_\alpha\text{N}$: $0 < \alpha \leq 0.5$ 、 $0 \leq \beta < 1$ 、 $0 \leq \gamma < 1$ 、 $\alpha+\beta+\gamma=1$) 混晶から構成され、前記活性層が窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム ($\text{Al}_Q\text{Ga}_R\text{In}_Y\text{N}$: $0 < Y \leq 1$ 、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $Q+R+Y=1$) 混晶から構成され、 $\alpha \leq 0.5 \times Y$ であることを特徴とする上記 (1) 乃至 (3) に記載のリン化硼素系半導体素子。

(5) 前記リン化硼素系半導体結晶層がリン化硼素・インジウム (BAlInP : $0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq D < 1$ 、 $A+D=1$) 混晶から構成され、前記中間層が窒化ガリウム・インジウム ($\text{Ga}_\beta\text{In}_\alpha\text{N}$: $0 < \alpha \leq 0.5$ 、 $0 \leq \beta < 1$ 、 $\alpha+\beta=1$) 混晶から構成され、活性層が窒化ガリウム・インジウム ($\text{Ga}_R\text{In}_Y\text{N}$: $0 < Y \leq 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $R+Y=1$) 混晶から構成され、 $\alpha \leq 0.5 \times Y$ であることを特徴とする上記 (4) に記載のリン化硼素系半導体素子。

(6) 前記中間層を有機金属化学的気相堆積法 (MOCVD 法) で成膜する上記 (1) ないし (5) に記載のリン化硼素系半導体素子の製造方法。

(7) 前記中間層の成長温度を $700^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$ とする上記 (6) に記載のリン化硼素系半導体素子の製造方法。

(8) 上記 (1) ないし (5) に記載のリン化硼素系半導体素子からなる発光ダイオード。

である。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の第 1 の実施形態に於いて、珪素単結晶基板上に設けるリン化硼素系半導体結晶層は、硼素 (B) とリン (P) とを構成元素として含む、例えば、 $\text{BAlBGaInP}_{1-\delta}\text{As}_\delta$ ($0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq B < 1$ 、 $0 \leq C < 1$ 、 $0 \leq D < 1$ 、 $A+B+C+D=1$ 、 $0 \leq \delta < 1$) 結晶からなる層である。また、例えば、 $\text{BAlBGaInP}_{1-\delta}\text{N}_\delta$ ($0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq B < 1$ 、 $0 \leq C < 1$ 、 $0 \leq D < 1$ 、 $A+B+C+D=1$ 、 $0 \leq \delta < 1$) 結晶からなる層である。リン化硼素系半導体発光素子にあって、活性層 (発光層) よりも禁止帯幅の広い半導体結晶から構成されたリン化硼素系半導体結晶層は活性層に対する障壁層として利用できる。また、例えば、酸素 (O) 等を添加した高抵抗のリン化硼素系半導体結晶層は、例えば、電界効果型トランジスタ (FET) にあって、活性層からの動作電流の漏洩を抑制し、相互コンダクタンス (g_m) に優れる緩衝層として利用できる。

【0009】基板には、 $\{100\}$ 面、 $\{110\}$ 面、或いは $\{111\}$ 面を有する珪素単結晶 (シリコン) を利用できる。特定の結晶方向に傾斜した結晶面を表面とする珪素単結晶も、基板として利用できる。例えば、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方向に角度にして約 7° 傾斜した

【111】結晶面を表面とする珪素単結晶を基板として利用できる。リン化硼素系半導体発光素子にあって、 n 形または p 形伝導性の珪素単結晶を基板とすれば、基板の裏面に正負、何れかの極性のオーミック（Ohmic）性電極を敷設できるため、簡便に発光素子を構成するに寄与できる。特に、抵抗率を1ミリオーム（ $m\Omega$ ）以下、より望ましくは0.1 $m\Omega$ 以下とする低い比抵抗（＝抵抗率）の導電性単結晶基板は、順方向電圧（所謂、 V_f ）の低いLEDをもたらすに貢献する。また、放熱性に優れるため安定した発振をもたらすLEDを構成するに有効となる。リン化硼素系半導体発光素子にあって、基板とする珪素単結晶に接合させてリン化硼素系半導体結晶層を設ける場合、基板の珪素単結晶とリン化硼素系半導体結晶層の伝導形を同一とするのが望ましい。

【0010】リン化硼素系半導体結晶層は、上記の珪素単結晶基板上に緩衝層を介して設けることができる。特に、非晶質または多結晶のリン化硼素系半導体層から構成された緩衝層は、基板をなす珪素単結晶との格子不整合性を緩和して、ミスフィット転位等の結晶欠陥密度の小さいリン化硼素系半導体結晶層をもたらすに効果を発揮する。また、リン化硼素系半導体層からなる緩衝層を構成する硼素とリンは、成長を促進する「成長核」としての作用を発揮し、その上に連続性のあるリン化硼素系半導体結晶層をもたらすに効果を奏する。例えば、MOCVD法により250℃～750℃の温度で形成した非晶質または多結晶のリン化硼素（BP）から緩衝層を構成する例を挙げられる（米国特許6,069,021号参照）。緩衝層102の層厚は約1nm以上で50nm以下、更には2nm以上で15nm以下とするのが好ましい。

【0011】リン化硼素系半導体結晶層上には、インジウムを含有するIII-V族化合物半導体結晶からなる中間層を設ける。本第1の実施形態に於ける特徴は、中間層を特定のインジウム組成（＝ α ）を有するIII-V族化合物半導体結晶層から構成していることにある。中間層は例えば、窒化ガリウム・インジウム（ $Ga_{1-\alpha}In_{\alpha}N$ ）等のIII-V族化合物半導体結晶から構成するが、そのインジウム組成（＝ α ）は、 $0 < \alpha \leq 0.5 \times Y$ とする。ここで Y は、中間層の上に形成される、一般式 $Al_qGa_rIn_yN$ （但し、 $0 \leq q < 1$ 、 $0 \leq r < 1$ 、 $q+r+Y=1$ ）で表わされるIII族窒化物半導体結晶からなる活性層のインジウム組成（但し $0 < Y \leq 1$ ）である。活性層をなすIII族窒化物半導体結晶層のインジウム組成（＝ Y ）とは、例えば、層内で均一なインジウム組成を有する活性層にあっては、その組成そのものである。また、層厚の増加方向にインジウム組成に勾配を有する活性層にあっては、中間層と接する側の表面に於けるインジウム組成である。また、インジウム組成を相違する結晶相の集合体からなる多相構造の活性層にあっては、各結晶相のインジウム組成の平均値であ

る。

【0012】本発明の中間層は、特に深さ方向（成長方向）にインジウム組成（＝ Y ）を均一とする活性層をもたらすために設けられるものである。中間層をなすIII-V族化合物半導体結晶層のインジウム組成（＝ α ）が活性層をなすIII族窒化物半導体結晶のインジウム組成（＝ Y ）の半値を越える高値であると、深さ方向に均一な所望のインジウム組成（＝ Y ）を有する活性層を安定して得ることができない。特に、図1に例示する如く、中間層から活性層側へのインジウム（ In ）原子の拡散に起因して、活性層の層厚の増加方向に漸次、インジウム組成（＝ Y ）が減少した組成的に不均一な活性層が帰結される。逆に、中間層をインジウム（ In ）を含まないIII-V族化合物半導体結晶層から構成すると、所望のインジウム組成（＝ Y ）に満たない活性層が帰結され易くなる。特に、図2に例示する様に、活性層の深部の中間層側の領域に於いてインジウム組成が低下した組成的に不均一な活性層が帰結される。この様なインジウム組成（＝ Y ）の不均一なIII族窒化物半導体結晶からなる活性層を発光層として利用しても、インジウム組成（＝ Y ）の変化に対応した種々の発光が生じ、単色性に優れる発光をもたらすリン化硼素系半導体発光素子を得るに至らない。

【0013】また、インジウム組成（＝ α ）を、活性層のインジウム組成（＝ Y ）の半値（＝ $1/2$ ）を越えるものとする中間層上には、表面の平坦性に優れる活性層を安定して形成できない。 α が $0.5 \times Y$ を越えると、活性層の表面に凹凸が急激に顕著となる。粗雑に荒れた表面の活性層では、平滑な接合界面を構成できない。従って、例えば、この様な粗雑な表面を有する活性層を電子走行層（チャネル層）とするヘテロ（異種）接合構造して利用して高移動度FETを構成することを意図しても、ヘテロ接合界面の近傍のチャネル（channel）層の内部に効率的に2次元電子を局在させることができず、相互コンダクタンス（ g_m ）に優れる2次元電子ガスFET（TEGFET）は得られず不都合となる。TEGFETに利用する中間層は、電子走行層と同一の伝導形或いは高抵抗のIII-V族化合物半導体結晶層から構成するのが望ましい。また、FETに好適に利用できる中間層の層厚は活性層の $1/2$ 以下である。例えば、層厚を15nmとする活性層について、中間層として好適な層厚は7.5nm以下である。更に、好ましくは約5nm以下である。層厚が約1nm未満の極薄膜の中間層では、下地のリン化硼素系半導体結晶層の表面全体を均一に被覆するに至らず、従って、深さ方向或いは平面的に均一なインジウム組成を有する活性層を得るに支障となる。

【0014】活性層の層厚に比較して過大である層厚の中間層は、リン化硼素系半導体素子の特性の向上に支障を来す要因となる場合がある。中間層を構成するための

III-V族化合物半導体の多くは直接遷移型の半導体である(上記の「半導体デバイス概論」、28頁参照)。従って、例えば、リン化硼素系半導体発光素子にあって、中間層に流入する素子動作電流によって、活性層に加え中間層からの発光が副次的に発生してしまう場合がある。本第1の実施形態では、中間層を活性層と同一の材料から構成する場合にあっても、インジウム組成($=\alpha$)は活性層のそれ($=Y$)とは相違させているので、中間層からの副次的な発光の波長は、本来所望する活性層からの発光波長とは異なるものとなる。通常、中間層の層厚を大とする程、中間層からの副次的な発光の強度は増大するため、発光の単色性に優れるリン化硼素系半導体発光素子を得るに支障となる。中間層の層厚を、活性層の層厚の $1/2$ 以下とすると副次的な発光の強度は、急激に低下させられる。発光素子を構成するに利用する中間層の伝導形は、活性層またはリン化硼素系半導体結晶層の何れかと一致させる。

【0015】中間層上に設ける本発明の活性層は、インジウム組成を Y ($0 < Y \leq 1$) とする一般式 $Al_qGa_rIn_yN$ (但し、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $Q+R+Y=1$) で表わされるIII族窒化物半導体結晶から構成する。本発明に係わるリン化硼素系半導体素子の活性層は、量子井戸(Quantum Well: QW)構造からも構成できる。例えば、リン化硼素系半導体層上に設ける活性層を、 $Ga_{1-Y}In_YN$ ($0 < Y \leq 1$) 等からなる結晶層を井戸(well)層として備えた単一(Single QW: SQW)或いは多重(Multi QW: MQW)構造から構成することもできる。バリア(barrier)層は窒化アルミニウム・ガリウム($Al_{1-X}Ga_XN$: $0 \leq X \leq 1$) や $GaN_{1-\delta}P_\delta$ ($0 \leq \delta \leq 1$) 等から構成できる。本発明の云う活性層とは、量子井戸構造にあっては、発光をもたらす或いは電子が走行する井戸層である。従って、リン化硼素系半導体結晶層上に量子構造体を設けるに際しても、本発明の中間層を例えば、バリア層上に設けた後、井戸層を形成することとすれば、深さ方向或いは平面的にインジウム組成($=Y$)を均一とする井戸層(活性層)がもたらされる利点がある。

【0016】本発明の第2の実施形態では、中間層を特殊な結晶構造を有するIII-V族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成する。すなわち、閃亜鉛鉱型(zinc blende)の結晶体を含むウルツ鉱型(Wurtzite)のIII-V族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成する。単一の結晶型の結晶から画一的に構成されているのではなく、この様な異なる結晶型の結晶が混在している結晶層を本発明では多結晶層と称する。例えば、単量体のリン化硼素(BP)からなるリン化硼素系半導体結晶層上に設ける中間層を、閃亜鉛鉱型の結晶体を含むウルツ鉱型の窒化ガリウム・インジウム($Ga_{1-\alpha}In_\alpha N$: $0 < \alpha \leq 0.5 \times Y$) の

多結晶層から構成する。リン化硼素系半導体結晶は一般に閃亜鉛鉱型の結晶構造を有するため、ウルツ鉱型の結晶層から中間層を構成する場合、この様な閃亜鉛鉱型の結晶体を含む中間層からは、リン化硼素系半導体結晶層と中間層との間の熱膨張率或いは格子定数の差異等に起因して発生する格子歪を緩和する作用が得られる。また、中間層は、活性層の成膜時に於ける、下地のリン化硼素系半導体結晶層より活性層側に拡散して来るリン(P)を吸収して、活性層内のリン(P)の原子濃度を抑制するに効果を奏する。

【0017】本発明の第3の実施形態では、また中間層を上記とは異なる結晶構造を有するIII-V族化合物半導体結晶層から構成する。すなわち、ウルツ鉱型の結晶体を含む閃亜鉛鉱型のIII-V族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成する。例えば、ウルツ鉱型の窒化ガリウム・インジウムからなる結晶体を含む閃亜鉛鉱型のIII-V族化合物半導体の多結晶層から構成する。III族窒化物半導体結晶は一般にウルツ鉱型であるため、ウルツ鉱型の結晶体を含む閃亜鉛鉱型のIII-V族化合物半導体結晶からなる多結晶層から構成される中間層は、中間層とIII族窒化物半導体結晶からなる活性層との間の熱膨張率或いは格子定数の差異等に起因して発生する格子歪を緩和して、結晶性に優れる活性層をもたらす作用を有する。また、中間層は、活性層の成膜時に於ける、下地のリン化硼素系半導体結晶層より活性層側に拡散して来るリン(P)を吸収して、活性層内のリン(P)の原子濃度を抑制するに効果を奏する。

【0018】本発明の第4の実施形態では、リン化硼素系半導体結晶層をリン化窒化硼素・インジウム($BaInD_{N1-\delta}P_\delta$: $0 < A \leq 1$ 、 $0 \leq D < 1$ 、 $A+D=1$ 、 $0 < \delta \leq 1$) 混晶から構成し、リン化硼素系半導体結晶層上に設ける中間層を窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム($Al_\gamma Ga_\beta In_\alpha N$: $0 < \alpha \leq 0.5$ 、 $0 \leq \beta < 1$ 、 $0 \leq \gamma < 1$ 、 $\alpha+\beta+\gamma=1$) 混晶から構成し、且つ活性層を窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム($Al_qGa_rIn_yN$: $0 < Y \leq 1$ 、 $0 \leq Q < 1$ 、 $0 \leq R < 1$ 、 $Q+R+Y=1$) 混晶から構成する。ここで $\alpha \leq 0.5 \times Y$ とする。リン化窒化硼素・インジウム混晶からは、基板とする珪素単結晶に格子整合するリン化硼素系半導体結晶層を構成できる利点がある(特開2000-22211号公報参照)。また、窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム混晶は、一種のワイドバンドギャップ(wide band gap)材料であるため、例えば、近紫外帯光或いは短波長可視帯光を出射するに好都合な活性層を構成できる。また、規定されたインジウム組成(α 、但し $0 < \alpha \leq 0.5 \times Y$)を有し、且つ活性層の構成元素を含んでなる窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム($Al_\gamma Ga_\beta In_\alpha N$: $0 < \alpha \leq 0.5$ 、 $0 \leq \beta < 1$ 、 $0 \leq \gamma < 1$ 、 $\alpha+\beta+\gamma=1$) 混晶から構成した中間層は、活性

層の成長に於ける「成長核」を提供して、活性層の成膜を促進すると共に、インジウム組成(=Y)の均一な活性層をもたらせる。

【0019】さらに本発明の第5の実施形態では、リン化硼素系半導体結晶層をリン化硼素・インジウム(BAlInDP : $0 < A \leq 1$, $0 \leq D < 1$, $A + D = 1$)混晶から構成し、リン化硼素系半導体結晶層上に設ける中間層を窒化ガリウム・インジウム($\text{Ga}\beta\text{In}\alpha\text{N}$: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, $\alpha + \beta = 1$)混晶から構成し、活性層を窒化ガリウム・インジウム($\text{Ga}\gamma\text{In}\alpha\text{N}$: $0 < Y \leq 1$, $0 \leq R < 1$, $R + Y = 1$)混晶から構成する。ここで $\alpha \leq 0.5 \times Y$ とする。 BAlInDP 混晶は構成元素がより少なく、従って、リン化硼素系半導体結晶層の形成を簡便とできる。特に、室温での禁止帯幅を約3eV前後とする単量体のリン化硼素(BP)結晶層からは、活性層(発光層)に対する障壁層(クラッド層)となるリン化硼素系半導体結晶層を構成できる。また、酸素(O)等の不純物を含む高抵抗のリン化硼素(BP)結晶層からは、例えば、FET用途の緩衝層を構成できる。また、中間層をインジウム組成は異にするものの、活性層と同様の材料から構成すれば、相互の格子ミスマッチ度を小と出来るため、ミスフィット(misfit)転位等の結晶欠陥密度の低い良質の活性層を構成できる。特に、閃亜鉛鉱型の結晶体を混在したウルツ鉱型結晶からなる中間層は、結晶欠陥密度の少ない結晶性に優れる活性層をもたらすに貢献できる。

【0020】III-V族化合物半導体結晶からなる中間層は、リン化硼素系半導体結晶層或いは活性層と同様に、例えば、有機金属化学的気相堆積法(MOCVD法)等の成長手段により成膜できる。例えば、トリエチル硼素($(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$)／シクロペンタジエニルインジウム($\text{C}_5\text{H}_5\text{In}$)／ホスフィン(PH_3)原料系MOCVD法に依り成膜できる。ルイス(Lewis)塩基性の PH_3 に対し、強度のルイス酸性を呈しない $\text{C}_5\text{H}_5\text{In}$ をインジウム原料とすれば、 PH_3 とのポリマー(polymer)化反応が抑制され、常圧(略大気圧)下のMOCVD法でも良質のインジウムを含有する中間層を形成できる(日本国特許2098388号参照)。MOCVD法に依り中間層を成膜するに際し、その層厚は、珪素単結晶基板への硼素(B)及びインジウム(In)等のIII族構成元素の原料の供給量及びその供給時間により制御できる。中間層のインジウム組成(=α)は、III族構成元素の供給量の総量に対するインジウム原料の供給量の濃度比率を変化させて調整する。また、中間層のキャリア濃度は、III族構成元素の原料の供給量に対するV族構成元素の供給量の比率(所謂、V/III比率)を適宜、選択することに依り、または不純物を故意に添加(ドーピング)して調整する。n形の中間層を得るに適する不純物としては、珪素(Si)、錫(Sn)、硫黄(S)、セレン(Se)

やテルル(Te)等を例示できる。p形のドーパント(dopant)には、亜鉛(Zn)、マグネシウム(Mg)、炭素(C)等がある。

【0021】MOCVD法により、珪素単結晶基板上に設けられた例えば、単量体のリン化硼素(BP)結晶からなるリン化硼素系半導体結晶層上に、窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム($\text{Al}\gamma\text{Ga}\beta\text{In}\alpha\text{N}$: $0 < \alpha \leq 0.5$, $0 \leq \beta < 1$, $0 \leq \gamma < 1$, $\alpha + \beta + \gamma = 1$)混晶から構成される中間層を成膜するに際し、リン化硼素結晶層は約750℃～約1200℃の範囲で、成膜するのが好ましい。約1200℃を越える高温では、 B_6P 、 B_{13}P_2 等の多量体のリン化硼素結晶が生成され、単量体のリン化硼素からなる均質な結晶層が得られず不適である。中間層はそれより低温の約700℃～約950℃の範囲で成膜するのが適する。インジウム組成(α)を大とする中間層程、成膜温度を低温とすると、平坦な表面の中間層が得られる。アルミニウム(Al)を含むIII族窒化物半導体結晶層からなる中間層を成膜するには、成膜温度を、上記の温度範囲内で比較的高温とするのが適する。中間層上に積層する活性層を、インジウム組成は相違するものの、同様の結晶材料から構成すると、活性層を中間層と略同等の温度で簡便に形成できる利点がある。中間層或いは活性層のインジウム組成(αまたはY)は、例えば、X線回折法、2次イオン質量分析法(SIMS)、オージェ(Auger)分光分析法(AES)等の組成分析手段を利用して定量できる。

【0022】

【作用】珪素単結晶基板とインジウムを含有するIII族窒化物半導体結晶層からなる活性層との間に設けられた、活性層のインジウム組成を基に規定されたインジウム組成を有する中間層は、活性層のインジウム組成を均一化させる作用を有する。また、表面の平坦性に優れる活性層をもたらす作用を有する。

【0023】また、活性層のインジウム組成を基に規定されたインジウム組成を有し、且つ結晶型を相違する結晶体を含む多結晶層からなる中間層は、結晶性に優れる活性層をもたらす作用を有する。

【0024】

【実施例】リン化硼素系半導体素子からなる発光ダイオード(LED)を作製した例に挙げて、本発明の内容を具体的に説明する。本実施例に係わるLED1Bの平面模式図を図3に示す。また、図3に示す破線X-X'に沿ったLED1Bの断面模式図を図4に示す。

【0025】LED1B用途の積層構造体1Aは、(111)結晶面を表面とする硼素(B)を添加したp形のSi単結晶を基板101として構成した。基板101上には、トリエチル硼素($(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$)／ホスフィン(PH_3)／水素(H_2)系常圧MOCVD法により、350℃で、as-grown状態で非晶質を主体とする

リン化硼素からなる緩衝層102を堆積した。緩衝層102の層厚は約10nmとした。緩衝層102の表面には、上記のMOCVD気相成長手段を利用して、1050℃で成長させたp形の単量体リン化硼素(BP)結晶からなるリン化硼素系半導体結晶層103を積層した。p形のリン化硼素系半導体結晶層103のキャリア濃度は約 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とし、また、層厚は約400nmとした。p形のリン化硼素系半導体結晶層103をなす単量体のBP層の室温での禁止帯幅は、大凡、3.0eVであった。

【0026】p形のリン化硼素系半導体結晶層103上には、トリメチルガリウム($(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$)／シクロペンタジエニルインジウム($\text{C}_5\text{H}_5\text{In}$)／アンモニア(NH_3)／ H_2 系常圧MOCVD法により、インジウム組成を0.06(=6%)とするウルツ鉱結晶型のn形窒化ガリウム・インジウム($\text{Ga}_{0.94}\text{In}_{0.06}\text{N}$)からなる中間層104を積層した。中間層104の成膜温度は800℃とし、また、層厚は15nmとした。透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた断面TEM像及び制限視野電子線回折図形から、中間層104の内部には閃亜鉛鉱型の結晶体104aの存在が確認された。結晶体104aは特に、リン化硼素系半導体結晶層103との接合界面の近傍の領域に多く存在していた。結晶体104aの大きさは概ね、約2nmから約5nmであった。

【0027】中間層104の表面上には、インジウム組成を0.15(=15%)とするウツツ鉱型の珪素(Si)ドーパドn形窒化ガリウム・インジウム($\text{Ga}_{0.85}\text{In}_{0.15}\text{N}$)からなる活性層(発光層)105を堆積した。活性層105の成膜温度は、中間層104と同じく800℃とし、層厚は約300nmとした。また、活性層105のキャリア濃度は約 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ に設定した。2次イオン質量分析法(SIMS)に依り計測した活性層105内部のインジウム組成の深さ方向の分布は図5に示す如く、中間層104との接合界面に至る迄、約0.15と均一であった。中間層104との接合界面の近傍の活性層105の内部領域に於けるリン(P)原子の濃度は約 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 未満であり、p形のリン化硼素系半導体結晶層103より拡散して来るリン

(P)原子に対する中間層104の捕獲作用が顕現されていた。また、断面TEM技法による観察では、リン化硼素系半導体層103から活性層105内に貫通してくる転位は殆ど視認されなかった。

【0028】活性層105上には、単量体のリン化硼素(BP)からなるn形のリン化硼素系半導体結晶層106を積層した。n形のリン化硼素系半導体結晶層106のキャリア濃度は約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とし、また、層厚は約400nmとした。n型のリン化硼素系半導体結晶層106は、室温での禁止帯幅を大凡、3.0eVとする単量体のリン化硼素結晶より構成した。n形のリン化硼素系半導体結晶層106及びp形のリン化硼素系半導

体結晶層103と活性層105とから、中間層104とp形リン化硼素系半導体結晶層103とのpn接合構造を備えたダブルヘテロ(DH)構造の発光部を構成した。

【0029】n形のリン化硼素系半導体結晶層106の表面の中央部には、結線用の台座電極を兼ねる3層構造の表面オーミック電極107を配置した。表面オーミック電極107は直径を約120 μm とする円形とした。表面オーミック電極107の、n形リン化硼素系半導体結晶層106と接触する部位107aは、金(Au)・ゲルマニウム(Ge)合金の真空蒸着膜(膜厚=700nm)から構成した。Au・Ge真空蒸着膜107aの上には、ニッケル(Ni)真空蒸着膜(膜厚=100nm)107b被着させた。Ni真空蒸着膜107bの上には、Au真空蒸着膜(膜厚=1000nm)107cを被着させた。一方、p形Si単結晶基板101の導電性を活用して、基板101の裏面の略全面には、アルミニウム(Al)真空蒸着膜(膜厚=700nm)からなる裏面オーミック電極108を配置した。その後、積層構造体1Aを、基板101のSi単結晶の<211>結晶方向に平行及び垂直な方向に沿って裁断して、一辺を約350 μm とする正方形のLED1Bとした。

【0030】表面オーミック電極107と裏面オーミック電極108との間に、順方向に20ミリアンペア(mA)の動作電流を通流し、LED1Bの発光特性を調査した。発光中心波長は460nmとなった。中間層104のインジウム組成(=0.06)を、活性層105のインジウム組成(=0.15)の半値(=1/2)以下としたため、この主たる発光スペクトル以外に副次的な発光は認められず、発光は半値幅(=FWHM)を約20nmとする単色性に優れるものであった。また、結晶型の相違する結晶体を含む構成からなる中間層104の作用により、貫通転位の少ない活性層105をもたすことが出来たため、一般の積分球を使用してチップ(chip)状態で計測される輝度は9ミリカンデラ(mcd)となった。また、通常の電流-電圧(I-V)特性から求められた順方向電圧(Vf)は約3.7V(順方向電流=20mA)であった。また、逆方向電流が10 μA に到達する際の電圧である逆方向電圧(Vr)は約10V以上であり、良好なpn接合特性(整流特性)が顕現された。以上、本発明に依って、高い発光強度を呈しつつかつ耐圧性に優れるリン化硼素系半導体LEDが提供される結果となった。

【0031】

【発明の効果】珪素単結晶からなる基板と、基板上に設けられたリン化硼素系半導体結晶層と、リン化硼素系半導体結晶層上に設けられた活性層の下地層となる中間層と、中間層上にインジウム組成をY($0 < Y \leq 1$)とするIII族窒化物半導体結晶からなる活性層とを利用してリン化硼素系半導体素子を構成するに際し、本発明で

は、活性層をなすⅢⅢ族窒化物半導体結晶層のインジウム組成の1/2以下のインジウム組成のⅢⅢ-V族化合物半導体から中間層を構成することとしたので、例えば、LED等のリン化硼素系半導体発光素子において、発光の単色性を乱す副次的な発光を回避でき、単色性に優れた発光素子をもたらすに効果を奏する。

【0032】また本発明では、中間層のインジウム組成を、活性層をなすⅢⅢ族窒化物半導体結晶層のインジウム組成の1/2以下とするに加え、結晶型の相違する結晶体を含む多結晶層から中間層を構成することとしたので、例えば、発光強度と電気的な耐圧特性に優れたリン化硼素系半導体素子からなる発光ダイオードを提供できた。

【図面の簡単な説明】

【図1】中間層のインジウム組成が高い場合の活性層の深さ方向のインジウム組成の分布を示す図である。

【図2】中間層がインジウムを含まない場合の活性層の深さ方向のインジウム組成の分布を示す図である。

【図3】本発明の実施例に係るLEDの平面模式図である。

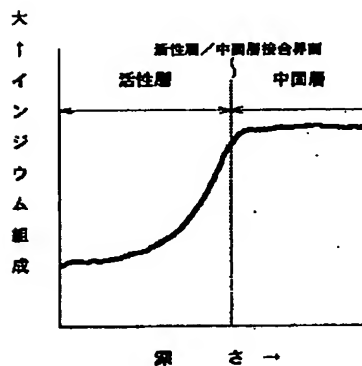
【図4】図3に示す破線X-X'に沿ったLEDの断面模式図である。

【図5】本発明の実施例に係る活性層の深さ方向のインジウム組成の分布を示す図である。

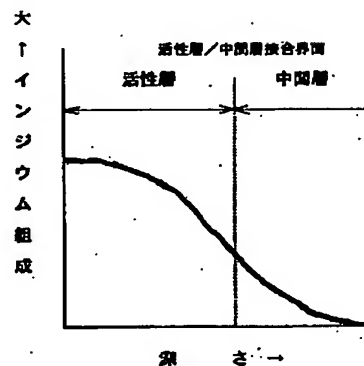
【符号の説明】

- 1A 発光素子(LED)用途積層構造体
- 1B LED
- 101 基板
- 102 緩衝層
- 103 p形のリン化硼素系半導体結晶層
- 104 中間層
- 104a 結晶体
- 105 活性層
- 106 n形のリン化硼素系半導体結晶層
- 107 表面オーミック電極
- 107a Au・Ge真空蒸着膜
- 107b Ni真空蒸着膜
- 107c Au真空蒸着膜
- 108 裏面オーミック電極

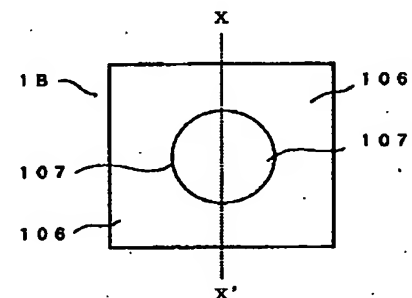
【図1】



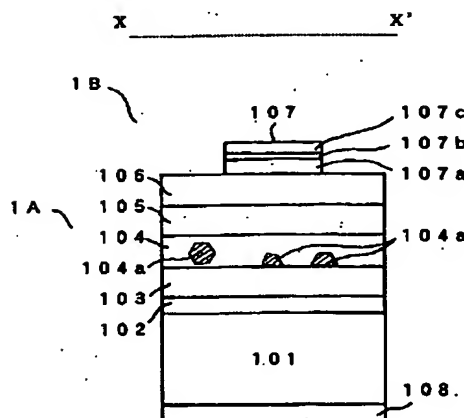
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

